



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO CAMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA E DE ALIMENTOS
CURSO ENGENHARIA DE ALIMENTOS

Tatiana Camila Oechsler Bona

**Revisão sistemática sobre a identificação e caracterização de microplásticos
provenientes de embalagens de alimentos**

Florianópolis
2025

Tatiana Camila Oechsler Bona

**Revisão sistemática sobre a identificação e caracterização de microplásticos
provenientes de embalagens de alimentos**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de Engenharia de Alimentos do Centro ou Campus Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharela em Engenharia de Alimentos.

Orientador(a): Prof.(a) Germán Ayala Valencia

Florianópolis
2025

Ficha catalográfica para trabalhos acadêmicos

Bona, Tatiana Camila Oechsler

Revisão sistemática sobre a identificação e caracterização de microplásticos provenientes de embalagens de alimentos / Tatiana Camila Oechsler Bona ; orientador, Germán Ayala Valencia, 2025.
44 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Graduação em Engenharia de Alimentos, Florianópolis, 2025.

Inclui referências.

1. Engenharia de Alimentos. 2. microplásticos. 3. segurança dos alimentos. 4. embalagens alimentares. I. Valencia, Germán Ayala. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia de Alimentos. III. Título.

Tatiana Camila Oechsler Bona

**Revisão sistemática sobre a identificação e caracterização de microplásticos
provenientes de embalagens de alimentos**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de Bacharela e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia de Alimentos

Local Florianópolis, 11 de Julho de 2025




Coordenação do Curso

Banca examinadora



Prof.(a) Dr.(a) Germán Ayala Valencia
Orientador(a)



Prof.(a) Dr.(a) Jéssica de Matos Fonseca
Instituição Universidade Federal de Santa Catarina



Dr.(a) Raul Remor Dalsasso
Instituição Universidade Federal de Santa Catarina

Florianópolis, 2025

RESUMO

Nas últimas décadas, o uso excessivo de plásticos em embalagens de alimentos trouxe benefícios em termos de conservação, transporte e segurança. No entanto, evidências crescentes apontam que esses materiais podem liberar micro e nanoplásticos, especialmente em condições de aquecimento ou armazenamento prolongado, representando um potencial risco à saúde humana e ao meio ambiente. A fragmentação dos polímeros presentes nas embalagens pode resultar na contaminação dos alimentos por partículas invisíveis a olho nu, cuja toxicidade ainda não é amplamente conhecida. Com isso, torna-se necessário compreender melhor os mecanismos de liberação dessas partículas, os materiais envolvidos e os métodos analíticos disponíveis. Este trabalho tem como objetivo revisar sistematicamente a literatura científica relacionada à identificação e caracterização de microplásticos oriundos de embalagens para alimentos. A pesquisa foi conduzida nas bases de dados SciELO e Scopus. Para garantir a relevância e a qualidade dos dados, foram definidos critérios de seleção baseados em palavras-chave (“microplásticos” e “embalagens de alimentos”), tipos de documento (apenas artigos de pesquisa). Após leitura e triagem, foram selecionados 53 artigos. Os resultados indicam que os microplásticos mais frequentemente associados às embalagens alimentares constituem-se de polietileno (PE), polipropileno (PP) e politereftalato de etileno (PET). As técnicas mais utilizadas para a identificação e caracterização dessas partículas incluem espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR), espectroscopia Raman e microscopia eletrônica. Estudos recentes apontam que a migração de microplásticos para os alimentos ocorre, a temperaturas acima de 40 °C ou em armazenamento por até 30 dias em temperatura ambiente. Fatores como tipo de polímero, tempo de contato e temperatura influenciam nesse processo. Embora ainda existam lacunas quanto aos efeitos dos microplásticos na saúde humana, pesquisas apontam potenciais riscos relacionados à ingestão, como inflamações, estresse oxidativo e bioacumulação. Verifica-se um crescimento expressivo na produção científica sobre o tema, refletindo o aumento da preocupação com a segurança dos materiais em contato com alimentos. Conclui-se que, apesar dos avanços obtidos na caracterização e detecção de microplásticos em embalagens alimentares, ainda são necessários mais estudos experimentais, avaliações toxicológicas e abordagens interdisciplinares, para que possamos entender melhor sobre os efeitos dos microplásticos em nós seres humanos. Nesse contexto, a Engenharia de Alimentos assume um papel estratégico no desenvolvimento de materiais mais seguros, na mitigação da migração de partículas plásticas e na formulação de soluções sustentáveis para proteger a saúde do consumidor e o meio ambiente.

Palavras-chave: microplásticos; embalagens alimentares; segurança dos alimentos.

ABSTRACT

In recent decades, the excessive use of plastics in food packaging has brought benefits in terms of food preservation, transport, and safety. However, increasing evidence indicates that these materials can release micro- and nanoplastics, especially under heating or prolonged storage conditions, posing potential risks to human health and the environment. The fragmentation of polymers in packaging can lead to the contamination of food by particles invisible to the naked eye, whose toxicity is still not fully understood. Therefore, it is necessary to better understand the mechanisms of particle release, the materials involved, and the available analytical methods. This study aims to systematically review the scientific literature related to the identification and characterization of microplastics originating from food packaging. The research was conducted using the SciELO and Scopus databases. To ensure data relevance and quality, selection criteria were established based on keywords (“microplastics” and “food packaging”) and document types (research articles only). After screening, 53 articles were selected. The results indicate that the microplastics most commonly associated with food packaging are polyethylene (PE), polypropylene (PP), and polyethylene terephthalate (PET). The most commonly used techniques for identifying and characterizing these particles include Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), Raman Spectroscopy, and Electron Microscopy. Recent studies show that microplastic migration to food occurs at temperatures above 40 °C or during storage for up to 30 days at room temperature. Factors such as polymer type, contact time, and temperature influence this process. Although gaps remain regarding the effects of microplastics on human health, studies suggest potential risks related to ingestion, such as inflammation, oxidative stress, and bioaccumulation. Scientific production on the topic has grown significantly, reflecting increasing concern about the safety of materials in contact with food. It is concluded that, despite advances in the detection and characterization of microplastics in food packaging, further experimental studies, toxicological evaluations, and interdisciplinary approaches are still needed to better understand their effects on human health. In this context, Food Engineering plays a strategic role in developing safer materials, mitigating plastic particle migration, and formulating sustainable solutions to protect consumer health and the environment.

Keywords: microplastics; food packaging; food safety.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Produção global de plástico (1950 - 2019)	16
Figura 2 - Ilustração dos principais caminhos de contaminação por microplásticos	17
Figura 3 - Classificação dos Microplásticos	20
Figura 4 - Polímeros mais comuns em embalagens de alimentos e frequência de ocorrência	24
Figura 5 - Migração de Microplásticos das Embalagens para os Alimentos	31
Figura 6 - Microplásticos no Ambiente Marinho	36

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Tipos mais comuns de microplásticos em embalagens para alimentos	23
Quadro 2 - Métodos de Identificação e Caracterização de Microplásticos em Alimentos	27
(continua)	27

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACR	Acrilato
PS	Poliestireno
PET	Polietileno Tereftalato
PE	Polietileno
PP	Polipropileno
PU	Poliuretano
EPS	Poliestireno Expandido
EVA	Etileno Acetato de Vinila
PVA	Álcool Polivinílico
PAN	Poliacrilonitrila
PVC	Policloreto de Vinila
PVS	Polivinilideno Cloreto
LDPE	Polietileno de Baixa Densidade
PBT	Polibutileno Tereftalato
PA	Poliamida
NPs	Nanoplásticos
FTIR	Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier
O ₃	Ozônio
EC	Eletrocoagulação

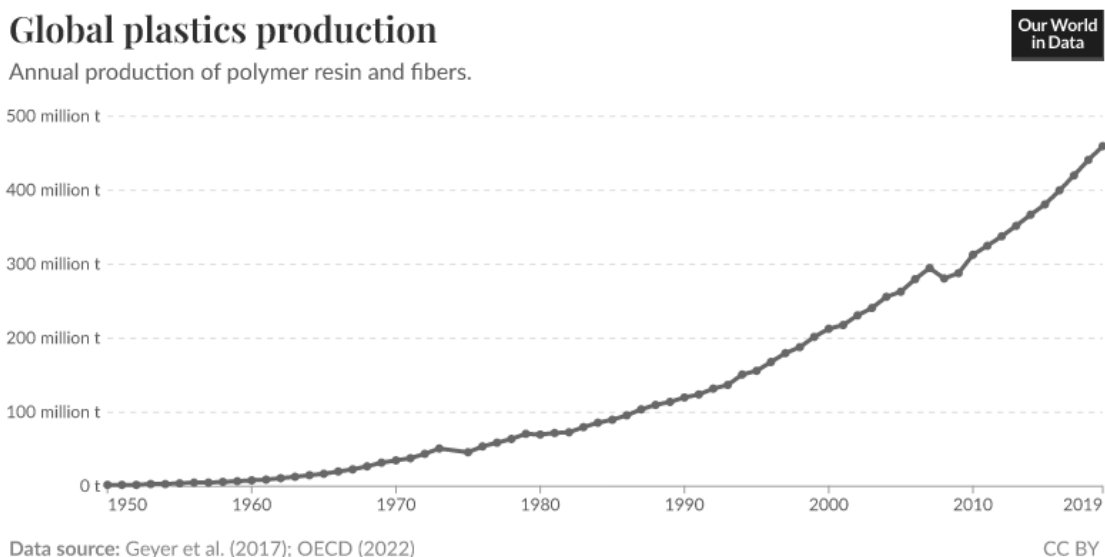
SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 OBJETIVOS	19
1.1.1 Objetivo geral	19
1.1.2 Objetivos específicos	19
2 CLASSIFICAÇÃO DOS MICROPLÁSTICOS	20
2.1 PRINCIPAIS TIPOS DE MICROPLÁSTICOS	21
2.2 TÉCNICAS UTILIZADAS PARA A IDENTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE MICROPLÁSTICOS	24
2.2.1 Microscópio estéreo ou Estereomicroscópio	25
2.2.2 Espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR)	25
2.2.3 Espectroscopia Raman	26
2.2.2 Pirólise acoplada à cromatografia gasosa com espectrometria de massas (Py-GC/MS)	26
2.3 RISCOS À SAÚDE HUMANA	28
2.4 MIGRAÇÃO DE MICROPLÁSTICOS DAS EMBALAGENS PARA OS ALIMENTOS	30
2.5 TENDÊNCIAS SOBRE O TEMA	35
2.6 IMPACTOS AMBIENTAIS	36
2.7 MEDIDAS DE MITIGAÇÃO	39
3 CONCLUSÃO	43
REFERÊNCIAS	44

1 INTRODUÇÃO

Desde sua invenção no início do século XX, os plásticos passaram a ser amplamente utilizados devido às suas propriedades versáteis, baixo custo e facilidade na fabricação. A produção global de plásticos cresceu exponencialmente nas últimas décadas, assim como mostrado na Figura 1, alcançando milhões de toneladas anuais (ZHANG et al., 2024).

Figura 1 - Produção global de plástico (1950 - 2019)

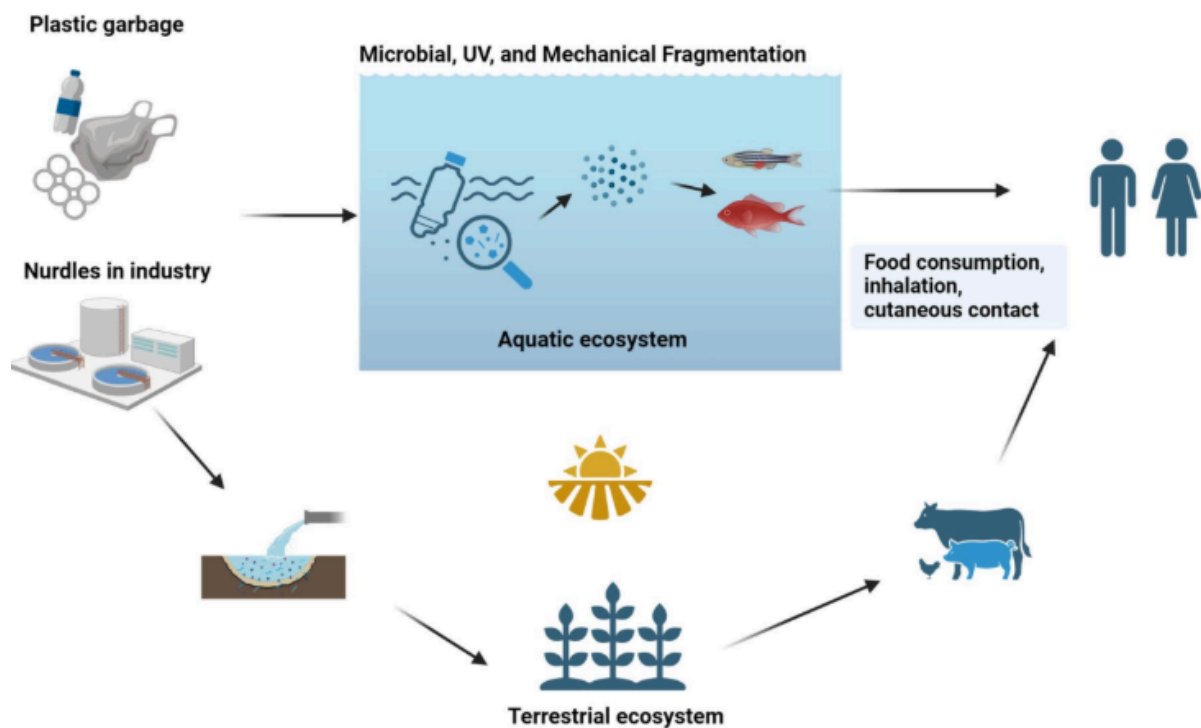


Fonte: Our World in Data, com dados de Geyer et al. (2017) e OECD (2022).

Esse crescimento está diretamente relacionado à expansão dos setores de embalagens, construção, eletrônicos, automotivos e, especialmente, da indústria alimentícia. No setor de embalagens para alimentos, os plásticos tornaram-se essenciais por proporcionarem leveza, durabilidade, barreiras contra contaminação e condições do ambiente externo (gases, umidade, etc.), facilidade de transporte e armazenamento, além do menor custo energético de processamento, comparados aos vidros e metais. Contudo, a popularização dos plásticos descartáveis e o uso intensivo de embalagens de uso único contribuíram para o aumento dos resíduos plásticos no meio ambiente, elevando os riscos associados à sua fragmentação em microplásticos (LI et al., 2025). Os microplásticos (MPs) são partículas plásticas com dimensões inferiores a cinco milímetros, que podem ser originadas tanto da

fragmentação de resíduos plásticos maiores (microplásticos secundários) quanto da fabricação intencional em tamanhos microscópicos (microplásticos primários), como as microesferas utilizadas em cosméticos, produtos de higiene pessoal e abrasivos industriais (ZHANG et al., 2024), como apresentado na Figura 2. A presença disseminada de MPs tem sido detectada em diversos ambientes, incluindo oceanos, rios, solos, atmosfera e alimentos, o que evidencia sua ampla distribuição e persistência no meio ambiente (LI et al., 2025).

Figura 2 - Ilustração dos principais caminhos de contaminação por microplásticos



Fonte: YALAMEHA et al. (2025)

Além disso, os microplásticos são compostos por diferentes polímeros sintéticos, como polietileno (PE), polipropileno (PP), poliestireno (PS), policloreto de vinila (PVC) e tereftalato de polietileno (PET), amplamente utilizados na fabricação de embalagens, utensílios e produtos descartáveis (ZHANG et al., 2024). Cada polímero possui propriedades químicas e físicas distintas que influenciam sua durabilidade, resistência à degradação e potencial de liberação de partículas no ambiente. Por exemplo, o polietileno e o polipropileno são os polímeros mais comuns em embalagens plásticas devido à sua leveza e resistência, mas também

representam as maiores fontes de microplásticos secundários, em razão do seu uso extensivo e descarte inadequado (LI et al., 2025). Essa contaminação global representa uma preocupação crescente devido aos impactos ambientais e à potencial exposição humana, uma vez que microplásticos podem atuar como vetores de contaminantes químicos e serem ingeridos por diversos organismos, inclusive o ser humano (KOSORE et al., 2024; ZHANG et al., 2024).

Nos últimos anos, estudos têm demonstrado que os microplásticos (MPs) não apenas contaminam a água e os alimentos, mas também podem penetrar no organismo humano por diferentes vias: ingestão, inalação e contato dérmico. A ingestão é considerada a via menos nociva, pois secreções como o suco gástrico contribuem para a desintegração e possível excreção dessas partículas. Por outro lado, a inalação e o contato dérmico representam vias potencialmente mais perigosas, pois podem permitir a entrada direta de partículas menores na corrente sanguínea ou em tecidos sensíveis, elevando o risco de efeitos tóxicos.

Um estudo conduzido por Pushparaj demonstrou que embalagens de PE, especialmente aquelas utilizadas para bebidas quentes como chá e café, podem liberar microplásticos quando expostas a temperaturas acima de 40 °C (PUSHPARAJ et al., 2024). Isso ocorre com frequência em contextos como estabelecimentos populares na Índia, e evidencia o risco de contaminação térmica de alimentos embalados. Evidências sugerem que, uma vez no organismo, os MPs podem atravessar barreiras biológicas, atingir diferentes tecidos e provocar reações inflamatórias, estresse oxidativo e alterações celulares, inclusive no sistema cardiovascular (PERSIANI et al., 2025). Diante da importância do tema, é fundamental investigar as origens, os tipos, os impactos e as possíveis formas de mitigar os efeitos dos microplásticos, especialmente quando consideramos a cadeia alimentar e a segurança dos alimentos, que são focos centrais da Engenharia de Alimentos.

Este trabalho tem como objetivo analisar os tipos mais comuns de microplásticos presentes em embalagens para alimentos, seus riscos potenciais à saúde humana, bem como os impactos ambientais decorrentes da sua disseminação e as estratégias de mitigação existentes. Entender as características dos diferentes tipos de polímeros e como eles se comportam no meio ambiente é essencial para criar soluções mais sustentáveis, capazes de reduzir a poluição e

proteger tanto a saúde das pessoas quanto os ecossistemas. Analisar de forma organizada os estudos científicos que tratam da identificação e caracterização de microplásticos que têm origem em embalagens para alimentos. A proposta é entender quais tipos de plásticos estão mais presentes, quais métodos são usados para detectar essas partículas e quais são os possíveis riscos associados ao consumo desses alimentos, tanto para a saúde humana quanto para o meio ambiente.

Com o aumento do uso de plásticos em embalagens para alimentos, cresce também a preocupação com a migração de partículas plásticas para o alimento, especialmente na forma de microplásticos. A literatura científica oferece informações valiosas sobre esse tema, mas ainda carece de sistematização e análise crítica que permitam compreender os riscos e caminhos tecnológicos e regulatórios.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Realizar uma revisão sistemática da literatura científica relacionada com a identificação e caracterização de microplásticos oriundos das embalagens de alimentos nos alimentos.

1.1.2 Objetivos específicos

- a) Identificar os principais polímeros utilizados em embalagens alimentares que liberam microplásticos.
- b) Avaliar os possíveis efeitos tóxicos dos microplásticos no organismo humano.
- c) Investigar os impactos ambientais associados à presença de microplásticos provenientes de embalagens alimentares.
- d) Mapear as estratégias tecnológicas, regulatórias e comportamentais voltadas à redução da liberação de microplásticos.

2 CLASSIFICAÇÃO DOS MICROPLÁSTICOS

Os microplásticos são geralmente divididos em duas categorias principais, de acordo com sua origem e a forma como são gerados (Figura 3). Microplásticos primários são aqueles produzidos intencionalmente em tamanhos microscópicos, geralmente inferiores a 5 mm até 1 µm, para utilização direta em diversos produtos comerciais. Exemplos comuns incluem microesferas presentes em cosméticos, agentes abrasivos industriais e pellets plásticos, que servem como matéria-prima na fabricação de itens plásticos maiores (ZHANG et al., 2024; LI et al., 2025). Esses microplásticos, por já serem pequenos, podem facilmente ser liberados no meio ambiente durante o uso e descarte inadequado desses produtos.

Figura 3 - Classificação dos Microplásticos



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Já, os microplásticos secundários são formados pela fragmentação e degradação de resíduos plásticos maiores, como embalagens, garrafas, sacolas plásticas, pneus e outros materiais descartados no ambiente. A degradação ocorre por meio de processos físicos (como abrasão e impacto mecânico), químicos (como a fotodegradação causada pela luz ultravioleta) e biológicos (com a ação de microrganismos), levando à formação gradual de partículas cada vez menores (KOSORE et al., 2024). Esses microplásticos secundários são considerados a

principal fonte de contaminação plástica nos ecossistemas aquáticos e terrestres devido ao volume e à persistência dos resíduos originais.

No contexto da contaminação de alimentos, os microplásticos secundários ganham destaque, pois são os mais associados à migração de partículas a partir de embalagens plásticas utilizadas no acondicionamento e aquecimento de alimentos. Embora menos associados diretamente aos alimentos embalados, os microplásticos primários também podem representar risco à saúde humana de forma indireta, especialmente pela ingestão de animais contaminados, como peixes e frutos do mar, que habitam ambientes aquáticos onde esses contaminantes são amplamente dispersos.

Fatores ambientais como a exposição ao calor também favorecem a liberação de microplásticos secundários. Estudos observaram que embalagens de PE, comumente utilizadas para acondicionar bebidas quentes em estabelecimentos comerciais, liberam microplásticos quando submetidas a temperaturas superiores a 40 °C, representando uma fonte relevante de contaminação em contextos urbanos e alimentares (PUSHPARAJ et al., 2024).

A compreensão dessa classificação é fundamental para a definição de estratégias de controle e mitigação da poluição por microplásticos, pois as fontes, os processos de geração e os impactos ambientais podem variar conforme o tipo (ZHANG et al., 2024).

2.1 PRINCIPAIS TIPOS DE MICROPLÁSTICOS

As embalagens plásticas utilizadas no acondicionamento de alimentos constituem fontes relevantes de liberação de microplásticos. Entre os tipos mais recorrentes, destacam-se polímeros sintéticos amplamente empregados pela indústria de embalagens alimentares. Esses materiais, derivados principalmente de petróleo, incluem o polipropileno (PP), polietileno (PE), polietileno tereftalato (PET), poliestireno (PS) e o policloreto de vinila (PVC), cada um com propriedades físico-químicas distintas que influenciam seu comportamento de degradação, fragmentação e toxicidade (PRASATH et al., 2025).

O polipropileno (PP) figura como um dos microplásticos mais frequentemente identificados. Esse polímero é utilizado na fabricação de potes,

tampas e bandejas plásticas, sendo valorizado por sua resistência a variações térmicas. No entanto, em condições de aquecimento ou desgaste mecânico, partículas de PP podem se desprender da matriz do material e migrar para os alimentos (WANG et al., 2023).

Outro microplástico amplamente identificado é o polietileno (PE), em suas formas de baixa densidade (LDPE) e alta densidade (HDPE). O PE está presente em filmes plásticos, sacolas e tampas de recipientes. A liberação de partículas desse material é intensificada por temperaturas elevadas, bem como pelo contato prolongado com alimentos oleosos ou ácidos (ZHANG et al., 2024).

O polietileno tereftalato (PET) também é comumente encontrado, especialmente em garrafas e embalagens de bebidas. Embora relativamente estável, o PET pode liberar microplásticos após exposição à luz solar, temperatura excessiva ou reutilizações sucessivas, principalmente quando armazenado em condições não ideais como, por exemplo, em temperatura ambiente e até sob refrigeração (ZHANG et al., 2025). O poliestireno (PS), utilizado em copos descartáveis, embalagens de poliestireno expandido e bandejas de alimentos, é especialmente propenso à degradação. A liberação de microplásticos por esse material ocorre com facilidade, principalmente quando há contato com alimentos aquecidos. Além disso, o PS pode liberar monômeros tóxicos, como o estireno, associado a efeitos adversos à saúde humana (ZHANG et al., 2024).

Polímeros como o policarbonato (PC) e o polimetilmetacrilato (PMMA) também podem estar presentes, embora com menor frequência. O PC, encontrado em algumas garrafas reutilizáveis, pode liberar partículas plásticas em condições de desgaste como o composto bisfenol-A (BPA), que pode levar a doenças cancerígenas. O PMMA, embora menos comum, é utilizado em tampas e componentes decorativos de embalagens, podendo liberar partículas por abrasão, (RIYA et al., 2024) e seu monômero metilmetacrilato que segundo estudos pode induzir alergia em contato dérmico (PEMBERTON et al., 2014).

A liberação desses microplásticos pode ocorrer por meio de diversos mecanismos, incluindo atrito mecânico, exposição térmica, radiação ultravioleta e interações químicas com os alimentos. Além das partículas físicas, os plásticos utilizados nas embalagens podem liberar aditivos químicos, como plastificantes,

antioxidantes e estabilizantes, os quais potencializam os riscos toxicológicos à saúde humana (LI et al., 2025).

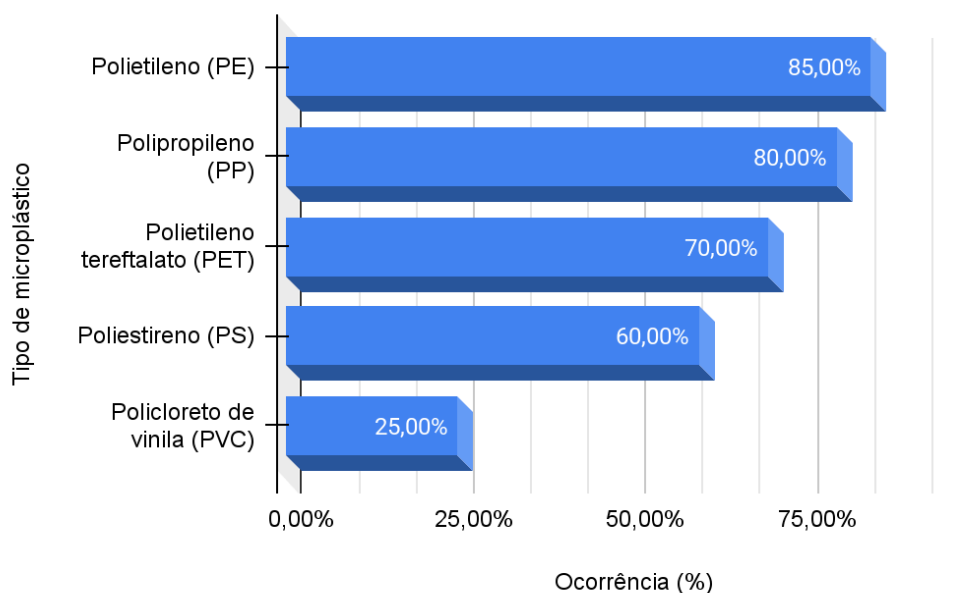
Essas evidências são corroboradas pelo estudo de Prasath et al. (2024), que fornece uma análise dos principais tipos de polímeros presentes nos microplásticos ambientais, destacando suas propriedades físico-químicas, rotas de degradação e persistência nos ecossistemas. Esse trabalho reforça que materiais amplamente utilizados em embalagens alimentares, como PP, PE, PET, PS e PVC, possuem alta estabilidade e são resistentes à biodegradação, contribuindo para uma fragmentação contínua e um certo acúmulo ambiental. Além disso, os autores enfatizam os impactos toxicológicos desses polímeros tanto para organismos aquáticos quanto para a saúde humana, e assim é apontado para a necessidade urgente de regulamentação mais rigorosa e desenvolvimento de alternativas sustentáveis para o contato com alimentos, como pode ser visto no Quadro 1, e na Figura 4.

Quadro 1 - Tipos mais comuns de microplásticos em embalagens para alimentos

Tipo de Microplástico	Polímero	Fonte comum (embalagem)	Frequência de ocorrência	Riscos associados
Polipropileno	PP	Recipientes para micro-ondas	Alta	Liberação de aditivos, fragmentação
Polietileno tereftalato	PET	Garrafas, embalagens rígidas	Alta	Migração para bebidas, fragmentação
Polietileno	PE	Sacolas plásticas, filmes.	Média	Fragmentação por UV, adsorção de contaminantes
Poliestireno	PS	Copos descartáveis, embalagens	Média	Liberação de partículas e aditivos

Fonte: elaborado pelo autor (2025).

Figura 4 - Polímeros mais comuns em embalagens de alimentos e frequência de ocorrência



Fonte: elaborado pelo autor (2025).

2.2 TÉCNICAS UTILIZADAS PARA A IDENTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE MICROPLÁSTICOS

A identificação e caracterização de microplásticos em alimentos envolvem diferentes técnicas que combinam observações visuais como a microscopia, com métodos químicos, caracterizando esses materiais com precisão. Esses métodos têm evoluído para possibilitar a identificação do polímero, tamanho, forma e potencial toxicidade das partículas presentes em diferentes matrizes alimentares. A escolha do método depende da natureza da amostra, do tamanho das partículas e dos objetivos da análise (WANG et al., 2024; LI et al., 2025). Antes da aplicação dessas técnicas, as amostras passam por etapas de pré-tratamento, como a digestão enzimática (com proteases e lipases), oxidação com H_2O_2 ou HNO_3 e filtração, para remover matéria orgânica que possa interferir nas análises espectrais (PRATA et al., 2018). Para as embalagens de alimentos processados, essa etapa é fundamental para garantir resultados mais confiáveis.

2.2.1 Microscópio estéreo ou Estereomicroscópio

Inicialmente, o estereomicroscópio é amplamente empregado para a triagem morfológica de microplásticos, geralmente acima de 50 micrômetros. Essa técnica permite a observação de características como cor, forma e estrutura superficial. No entanto, sua limitação está na incapacidade de determinar a composição química das partículas. Para maior detalhamento morfológico, utiliza-se a microscopia eletrônica de varredura (SEM ou MEV, em inglês). Essa técnica fornece imagens de alta resolução, com aumento de 45x, que permitem examinar com precisão a superfície das partículas, revelando sinais de degradação, fraturas e outras irregularidades. No entanto, apesar de seu alto poder descritivo, ela não permite identificar o polímero presente (WISITTHAMMASRI et al., 2024).

2.2.2 Espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR)

A espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR), especialmente em sua versão microscópica (micro-FTIR), é utilizada para obter o espectro infravermelho de absorção ou a emissão de um sólido, líquido ou gás. Por meio da análise das vibrações moleculares dos polímeros, o FTIR permite distinguir materiais como polietileno (PE), polipropileno (PP), poliestireno (PS), entre outros. A espectroscopia FTIR possibilita a análise de partículas com tamanho próximo a 10 micrômetros pois funcionam com ampla faixa espectral entre 4000 e 400 cm^{-1} , e utilizando uma rede de difração de 1200 linhas/mm. No entanto, esse método pode ser afetado pela presença de contaminantes orgânicos e requer uma limpeza prévia das amostras (FADLELMOULA et al., 2022; SON et al., 2024). A espectroscopia por FTIR é baseada na detecção das vibrações moleculares características dos grupos funcionais presentes nos polímeros. Cada tipo de plástico possui uma assinatura espectral única, ou seja, um conjunto de picos que representam seus modos vibracionais. Essas vibrações são detectadas como absorções no infravermelho médio. Ao comparar os espectros obtidos com bancos de dados de referência, é possível identificar o tipo de polímero, mesmo em partículas muito pequenas (LENZ et al., 2015).

2.2.3 Espectroscopia Raman

A espectroscopia Raman permite identificar micro e nanoplásticos com diâmetros inferiores a 10 micrômetros. Essa técnica oferece alta resolução espacial, sendo especialmente útil para analisar partículas pigmentadas ou que contenham aditivos. Estudos recentes têm favorecido o uso da microscopia Raman em detrimento da espectroscopia FTIR, devido à sua maior resolução (~1 μm), maior sensibilidade e menor sensibilidade à umidade, o que permite ainda a detecção de revestimentos superficiais nos polímeros (ESPIRITU et al., 2024). No entanto, a fluorescência emitida por algumas amostras pode atrapalhar os resultados, representando uma limitação importante desta metodologia.

A espectroscopia por Raman também é baseada na detecção das vibrações moleculares características dos grupos funcionais presentes nos polímeros. No Raman são captadas como espalhamento inelástico da luz laser (LENZ et al., 2015). Estudos de Espiritu et al. (2024), utilizaram espectroscopia Raman para detectar microplásticos em produtos alimentícios básicos como sal, açúcar, arroz e molho de peixe, demonstrando a eficácia da técnica na análise direta de alimentos contaminados. Portanto, essas ferramentas analíticas se mostram essenciais para estudos de contaminação em alimentos e para o avanço das normas de segurança alimentar. Outras técnicas complementares, como o uso de corantes fluorescentes como o Nile Red, têm sido aplicadas para facilitar a visualização de microplásticos sob luz ultravioleta. Esses corantes aderem seletivamente à superfície hidrofóbica dos polímeros, permitindo uma triagem rápida. Apesar da praticidade, esses métodos apresentam riscos de falsos positivos, especialmente quando há presença de matéria orgânica semelhante em tamanho e forma.

2.2.2 Pirólise acoplada à cromatografia gasosa com espectrometria de massas (Py-GC/MS)

A pirólise acoplada à cromatografia gasosa com espectrometria de massas (Py-GC/MS) é amplamente empregada em estudos voltados à identificação e quantificação de microplásticos. Essa técnica funciona por meio da quebra térmica controlada das partículas plásticas, liberando compostos voláteis característicos de

cada polímero, os quais são separados e identificados pelo espectrômetro (LIU et al., 2023). Essa técnica permite quantificar e identificar microplásticos com alta sensibilidade, mesmo em alimentos processados e amostras com forte presença de matéria orgânica (PRATA et al., 2018). Trata-se de um método destrutivo, que não preserva a morfologia das partículas, mas apresenta elevada sensibilidade e especificidade, especialmente em matrizes complexas como alimentos processados (LIU et al., 2024; PRATA et al., 2018).

Portanto, a identificação e caracterização de microplásticos em alimentos geralmente requer a combinação de diferentes técnicas, sendo a integração de microscopia com espectroscopia (FTIR ou Raman) a abordagem mais utilizada. Quando se busca a quantificação, métodos como a pirólise-GC/MS são considerados os mais eficazes, embora demandem equipamentos especializados e preparo técnico avançado.

Apesar do avanço tecnológico, ainda há desafios relacionados à uniformização metodológica. A ausência de protocolos padronizados dificulta a construção de uma base de dados global confiável sobre a presença de microplásticos, especialmente em alimentos. Organismos internacionais como a Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) e o Pacto Global das Nações Unidas têm defendido a necessidade de protocolos padronizados, com validação interlaboratorial, para aumentar a robustez dos resultados e apoiar decisões regulatórias (LAHL et al. 2025). Esses diferentes métodos e suas vantagens e limitações podemos acompanhar no Quadro 2.

Quadro 2 - Métodos de Identificação e Caracterização de Microplásticos em Alimentos

(continua)

Método	Descrição	Vantagens	Limitações	Aplicações
FTIR (Espectroscopia no Infravermelho)	Identifica o tipo de polímero por meio de análise espectral.	Não destrutivo; boa precisão; fácil de operar.	Pouca eficácia para partículas <10 µm.	Identificação química de microplásticos maiores.
Raman	Espectroscopia baseada no espalhamento de luz	Alta precisão; detecta partículas pequenas (~1 µm).	Pode sofrer interferência por fluorescência.	Identificação de microplásticos pigmentados e de pequeno porte

Microscopia Eletrônica (SEM/MEV)	Observa detalhes morfológicos com alta ampliação e resolução.	Imagens de alta resolução; visualização precisa da morfologia.	Não identifica a composição química; preparo da amostra é complexo.	Análise de forma, fraturas e superfície das partículas.
Microscopia Óptica	Observação direta com luz visível	Técnica simples, rápida e de baixo custo.	Baixa resolução; útil apenas para partículas maiores (>50 µm).	Triagem inicial de microplásticos visíveis em amostras alimentares.
Py-GC/MS	Pirolisa a amostra e analisa os gases liberados por CG acoplada à EM.	Alta sensibilidade; identifica e quantifica polímeros.	Técnica destrutiva; exige equipamentos especializados.	Identificação química e quantificação precisa de microplásticos.
DSC (Calorimetria Diferencial de Varredura)	Avalia mudanças térmicas para estimar o tipo de polímero	Informa o tipo de polímero com base em seu comportamento térmico.	Técnica complementar; menor especificidade.	Suporte à identificação térmica de materiais poliméricos.
TGA (Análise Termogravimétrica)	Mede a perda de massa da amostra com o aumento da temperatura.	Estima o conteúdo de polímero presente.	Não diferencia tipos de polímeros; destrutiva.	Avaliação quantitativa de microplásticos em matrizes alimentares complexas.
Corantes fluorescentes (ex: Nile Red)	Corantes que se ligam aos plásticos e brilham sob luz UV.	Triagem rápida e visual; útil para amostras mistas.	Não identifica o tipo de polímero; risco de falsos positivos.	Deteção preliminar de microplásticos com microscopia fluorescente.

Fonte: elaborado pelo autor, com base em WANG et al. (2024), LIU et al. (2024).

2.3 RISCOS À SAÚDE HUMANA

Além de atuarem como partículas tóxicas, essas estruturas microscópicas também favorecem a formação de subprodutos da desinfecção (DBPs) que é um composto tóxico celular e genotóxica. A exposição simultânea a MNPs e DBPs em água potável pode amplificar efeitos adversos à saúde, como danos em células hepáticas, renais e intestinais (LI et al. 2025).

Segundo Prasath et al. (2025) e Yalameha et al. (2025), microplásticos foram detectados em tecidos humanos como pulmões, fígado, rins e placenta, podendo desencadear inflamação, estresse oxidativo e disfunções endócrinas, cardiovasculares e neurológicas. A exposição a essas partículas pode ocorrer por inalação, ingestão ou contato dérmico. Os efeitos sobre a saúde humana ainda estão sendo investigados, mas há evidências de que a exposição a microplásticos pode estar associada a diversos problemas de saúde, como inflamação, toxicidade,

danos ao sistema respiratório e digestivo, perturbações endócrinas, aumento do risco de doenças cardiovasculares e danos neurológicos. Complementando esses estudos, Ta et al. (2025), estimaram que no máximo 0,3% das partículas de microplásticos (MPs) menores que 150 µm são retidas no corpo humano após a ingestão, sendo o restante excretado. E conforme o estudo, a taxa de absorção se traduz em uma estimativa de 0,05 a 4,04 partículas de MPs retidas anualmente a partir do consumo de refrigerantes. Evidências indicam que MPs menores que 150 µm podem atravessar as barreiras gastrointestinais, entrar na corrente sanguínea e se acumular em órgãos críticos como fígado, rins e cérebro.

Microplásticos virgens e fotodegradados podem ativar células musculares lisas vasculares humanas, o que sugere um possível envolvimento dessas partículas em disfunções cardiovasculares e inflamações crônicas. Esses efeitos foram observados mesmo em baixas concentrações, reforçando a preocupação com a exposição cotidiana a plásticos degradados (PERSIANI et al. 2025). Além disso, uma meta-análise realizada pela Universidade da Califórnia (2024) sugere uma possível relação entre a exposição a microplásticos e o aumento do risco de câncer de cólon e pulmão.

Primeiramente, a presença de micro e nanoplásticos no trato gastrointestinal pode induzir respostas inflamatórias e estresse oxidativo, comprometendo a integridade da mucosa intestinal e facilitando a absorção de outras substâncias nocivas (ZHANG et al., 2024). Além disso, microplásticos podem atuar como vetores para contaminantes químicos, como aditivos plásticos, metais pesados e poluentes orgânicos persistentes, potencializando seus efeitos tóxicos (LI et al., 2025).

Estudos *in vitro* demonstraram que a exposição a microplásticos pode levar à ativação de células humanas, inclusive afetando células vasculares e potencialmente contribuindo para disfunções cardiovasculares (KOSORE et al., 2024). De forma complementar, Yalameha et al. (2025) reuniram evidências de que partículas plásticas em escalas micro e nano podem atravessar barreiras biológicas e alcançar o sistema circulatório, onde interagem com organelas celulares e biomoléculas fundamentais. Uma vez internalizadas, essas partículas ativam mecanismos como endocitose mediada por clatrina e caveolina, interferem na função mitocondrial, promovem estresse oxidativo e disfunções inflamatórias, além de modular negativamente o potencial angiogênico, essencial para a regeneração

tecidual e manutenção da homeostase vascular. Tais achados reforçam a hipótese de que micro e nanoplásticos não são apenas poluentes inertes, mas também agentes ativos na indução de alterações vasculares, com potencial ligação ao desenvolvimento de doenças cardiovasculares crônicas. A toxicidade também pode ser ampliada pela interação entre microplásticos e nanopartículas, como os nanomateriais de prata, que complicam a avaliação do impacto à saúde (ZHANG et al., 2024).

No entanto, é importante destacar que grande parte dos efeitos citados ainda são considerados hipotéticos ou observados em modelos *in vitro*, e que os dados em humanos permanecem limitados. Essa lacuna evidencia a necessidade de pesquisas adicionais para compreender melhor os mecanismos de toxicidade, as doses relevantes de exposição e os efeitos crônicos (LI et al., 2025).

Enfim, os riscos potenciais à saúde humana associados à ingestão de microplásticos incluem processos inflamatórios, toxicidade celular e possível bioacumulação de contaminantes, configurando um desafio emergente para a área da engenharia de alimentos e saúde pública (ZHANG et al., 2024).

2.4 MIGRAÇÃO DE MICROPLÁSTICOS DAS EMBALAGENS PARA OS ALIMENTOS

Existem evidências claras de que microplásticos podem migrar de embalagens plásticas para os alimentos durante o uso e armazenamento, configurando uma importante via de exposição humana a essas partículas contaminantes (SIDDIQUI et al., 2022). Essa migração depende de vários fatores, como as condições de uso das embalagens, o tipo de alimento e o tempo de contato (Figura 5).

Figura 5 - Migração de Microplásticos das Embalagens para os Alimentos



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

O aquecimento de recipientes plásticos, especialmente em micro-ondas, é um dos principais agentes que aceleram a degradação dos polímeros, favorecendo a liberação de micro e nanoplásticos. Embalagens fabricadas com materiais como polipropileno (PP), polietileno (PE) e polietileno tereftalato (PET) são as mais comumente relacionadas a esse fenômeno (SON et al., 2024). Além disso, o tempo prolongado de contato entre o alimento e a embalagem intensifica a migração, e a composição do alimento, sobretudo sua fração lipídica e acidez, podem acelerar a degradação do material, facilitando o desprendimento das partículas (SIDDIQUI et al., 2022).

Xia e Wang (2025) realizaram experimentos simulando condições reais de uso doméstico de embalagens plásticas alimentares, como congelamento, refrigeração e aquecimento em micro-ondas. Os resultados mostraram que recipientes de poliestireno (PS) liberaram significativamente mais microplásticos do que os de polipropileno (PP), especialmente após o aquecimento. Utilizando células intestinais humanas (Caco-2), os mesmos autores observaram que as partículas liberadas foram internalizadas pelas células e induziram toxicidade celular, incluindo

disfunção mitocondrial e alterações morfológicas. Com essas evidências, os riscos associados ao uso de embalagens plásticas para aquecer ou armazenar alimentos apontam para a necessidade de materiais mais estáveis e testes de migração que considerem o uso real das embalagens.

Complementando esses resultados, Son et al. (2024) demonstraram que a liberação de nanoplásticos está relacionada com a temperatura de uso dos materiais plásticos, mas também com o impacto físico. O estudo analisou cinco tipos comuns de polímeros (PP, PS, PET, HDPE e Nylon 6) e constatou que, em condições simuladas de efeitos físicos, como agitação a 200 rpm, resultou em um aumento significativo na concentração e massa de NPs liberados. O PP liberou 7,4 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ em massa e 2×10^9 partículas/ m^2 em número de partículas; o PS liberou 1690 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ e 2×10^{11} partículas/ m^2 ; e o HDPE apresentou liberação de 161 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ e 3×10^{10} partículas/ m^2 . Sob condição de cozimento mais extrema testada (2,5 horas a 180 °C), o PET liberou 385 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ em massa e 8×10^{10} partículas/ m^2 , enquanto o Nylon 6 liberou 49 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ e 3×10^{10} partículas/ m^2 . Esses resultados reforçam a necessidade de considerar as propriedades físico-químicas dos materiais no momento de projetar embalagens alimentares, além de alertar para os riscos crescentes associados ao uso inadequado de plásticos descartáveis.

Embora a maioria dos estudos sobre a exposição humana a microplásticos tenha se concentrado na ingestão de alimentos aquecidos em recipientes plásticos, a ingestão por meio de bebidas também representa uma via relevante. No estudo de Ta et al. (2025) investigaram a presença de MPs em refrigerantes disponíveis no mercado tailandês e identificaram diferentes tamanhos, formas e tipos de polímeros nas bebidas, correlacionando a contaminação com os tipos de embalagem utilizados. Os resultados revelaram uma prevalência significativa de MPs mesmo em bebidas frias e prontas para o consumo, sugerindo que tanto a água utilizada na fabricação quanto o material da embalagem e o ambiente de engarrafamento são potenciais fontes de contaminação. O estudo também estimou que a ingestão anual de MPs por adultos pode atingir valores superiores a 10^6 partículas, considerando vias alimentares e ambientais (HUANG et al., 2025).

De forma semelhante, Ramaremissa et al. (2025) analisou a ocorrência e as características físico-químicas de microplásticos em bebidas alcoólicas e não alcoólicas comercializadas na África do Sul, demonstrando que o tipo de embalagem

influencia diretamente nos níveis de contaminação. Foram detectadas partículas derivadas de resinas epóxi, poliésteres, polietileno, poliestireno e polipropileno, encontradas principalmente em latas, garrafas PET, embalagens cartonadas e sacos compostos. O estudo revelou ainda que a presença de MPs não se limita à bebida em si, mas está associada a todo o processo produtivo, incluindo a qualidade da água utilizada, o ambiente industrial e o desgaste das embalagens. As análises mostraram concentrações variáveis de microplásticos conforme o tipo de bebida e embalagem, reforçando que até mesmo bebidas frias podem conter altos níveis dessas partículas. Essa pesquisa destaca a relevância da embalagem como fonte direta e contínua de microplásticos nos alimentos e bebidas, alertando para a necessidade de revisão dos materiais utilizados e maior regulamentação do setor.

Além das partículas poliméricas liberadas, aditivos químicos presentes nas embalagens podem conferir perigos à saúde (SUN et al., 2023). Estudos experimentais confirmaram a presença de microplásticos em alimentos e bebidas que estiveram em contato com embalagens plásticas, por meio de espectroscopia Raman e pirólise acoplada à cromatografia gasosa, reforçando a evidência da migração direta dessas partículas (GIRI et al., 2024).

Outro aspecto importante refere-se à geração contínua de microplásticos a partir do desgaste e fragmentação das embalagens durante o manuseio cotidiano, contribuindo para a contaminação indireta dos alimentos. A exposição ambiental, aliada à radiação ultravioleta, intensifica o envelhecimento das embalagens e aumenta a liberação de micro e nanoplásticos (SON et al., 2024).

A ingestão de microplásticos têm despertado uma crescente preocupação devido aos possíveis impactos na saúde humana. Embora ainda não haja um entendimento completo desses efeitos no corpo humano, as evidências científicas indicam que microplásticos podem representar sérios riscos, principalmente pela capacidade de transportar contaminantes químicos e agentes patogênicos, além de causarem efeitos tóxicos diretos. Esses microplásticos podem atuar como vetores de substâncias tóxicas, como aditivos químicos utilizados na fabricação dos polímeros (ftalatos, bisfenol A, retardadores de chama) e contaminantes ambientais adsorvidos na superfície das partículas (metais pesados, pesticidas, poluentes orgânicos persistentes) (SON et al., 2024; LIU et al., 2024). A literatura científica aponta que os MPs podem atuar como vetores de contaminantes químicos perigosos, como

bisfenol A (BPA) com exposições acima de 2 µg/kg de peso corporal/dia, embora muitos países estejam revendo esses limites; ftalatos com exposição diária tolerável (TDI) do DEHP estabelecida em 50 µg/kg p.c./dia pela EFSA; metais pesados (chumbo, cádmio, mercúrio) e poluentes orgânicos persistentes (POPs), incluindo dioxinas, bifenilos policlorados (PCBs) e dioxinas com ingestão tolerável recomendada pela OMS para dioxinas de 2 pg/kg p.c./dia. A ingestão desses MPs, mesmo em quantidades pequenas, pode levar à liberação progressiva desses compostos no trato gastrointestinal humano.

Além disso, microplásticos podem induzir respostas inflamatórias e estresse oxidativo em células humanas. Estudos *in vitro* demonstram que a exposição a micro e nanoplásticos provoca ativação de células imunológicas e dano celular, contribuindo para processos patológicos (ZHANG et al., 2024). Em modelos *in vitro* de animais, a ingestão dessas partículas tem sido associada a alterações no trato gastrointestinal, incluindo danos à mucosa intestinal, perturbação da microbiota e aumento da permeabilidade intestinal, o que pode favorecer a entrada de toxinas e patógenos no organismo.

Na pesquisa de Espiritu et al. (2024), mostraram que a contaminação por microplásticos não está restrita a somente alimentos ultraprocessados. Existem evidências que apontam sua presença em produtos alimentares muito consumidos e tradicionais, como arroz, sal, açúcar e molhos fermentados, mesmo em países com dietas consideradas menos dependentes de industrializados. Esses achados ampliam a preocupação com a exposição humana, sugerindo que a presença de MPs em alimentos é uma questão sistêmica e global, relacionada não apenas ao processamento, mas também à embalagem, transporte, armazenamento e práticas domésticas de preparo.

Outra preocupação está relacionada ao tamanho das partículas. Microplásticos menores, especialmente nanoplásticos, possuem maior capacidade de atravessar barreiras biológicas, incluindo a barreira intestinal e potencialmente o sistema circulatório, podendo alcançar órgãos internos e exercer efeitos tóxicos sistêmicos (LI et al., 2025).

Por fim, estudos recentes sugerem que a exposição contínua a microplásticos pode agravar respostas tóxicas induzidas por outras substâncias químicas presentes no ambiente, aumentando o potencial de efeitos adversos

cumulativos na saúde humana. Diante dessas evidências, torna-se urgente aprofundar as pesquisas para melhor compreender os mecanismos de toxicidade, estabelecer níveis seguros de exposição e desenvolver políticas eficazes para minimizar a contaminação por microplásticos em alimentos e no ambiente (SIDDIQUI et al., 2022).

Com base nas evidências apresentadas, observa-se que a migração de microplásticos das embalagens para os alimentos constitui uma rota significativa de exposição humana a esses contaminantes. Diversos fatores influenciam esse processo, como o tipo de polímero, as condições de uso (temperatura, tempo e acidez dos alimentos), bem como o desgaste físico das embalagens. A presença dessas partículas em alimentos cotidianos e amplamente consumidos, como sal, arroz e bebidas, evidencia a presença dos microplásticos na cadeia alimentar. A conscientização do consumidor e o investimento em alternativas sustentáveis também são passos fundamentais para mitigar essa forma de contaminação alimentar.

2.5 TENDÊNCIAS SOBRE O TEMA

A ingestão de microplásticos (MPs) têm gerado crescente preocupação devido aos seus potenciais impactos à saúde humana. Essas partículas atuam como vetores de contaminantes químicos e agentes patogênicos, podendo causar desregulação endócrina, toxicidade hepática, renal e efeitos neurotóxicos. Estudos apontam que MPs e nanoplásticos induzem inflamação, estresse oxidativo e alterações no trato gastrointestinal. Partículas menores têm maior capacidade de atravessar barreiras biológicas, alcançando órgãos internos e provocando efeitos tóxicos sistêmicos. Além disso, a exposição contínua pode potencializar os danos causados por outros poluentes ambientais (ZHANG et al., 2024).

Para enfrentar esse cenário, as pesquisas vêm focando não apenas na detecção e análise dos microplásticos, mas também no desenvolvimento de soluções para mitigar sua liberação e impacto ambiental. Entre as estratégias estão o avanço de tecnologias para remoção de microplásticos em estações de tratamento de água, o desenvolvimento de bioplásticos e embalagens biodegradáveis, bem como políticas públicas que promovam a redução do consumo de plásticos

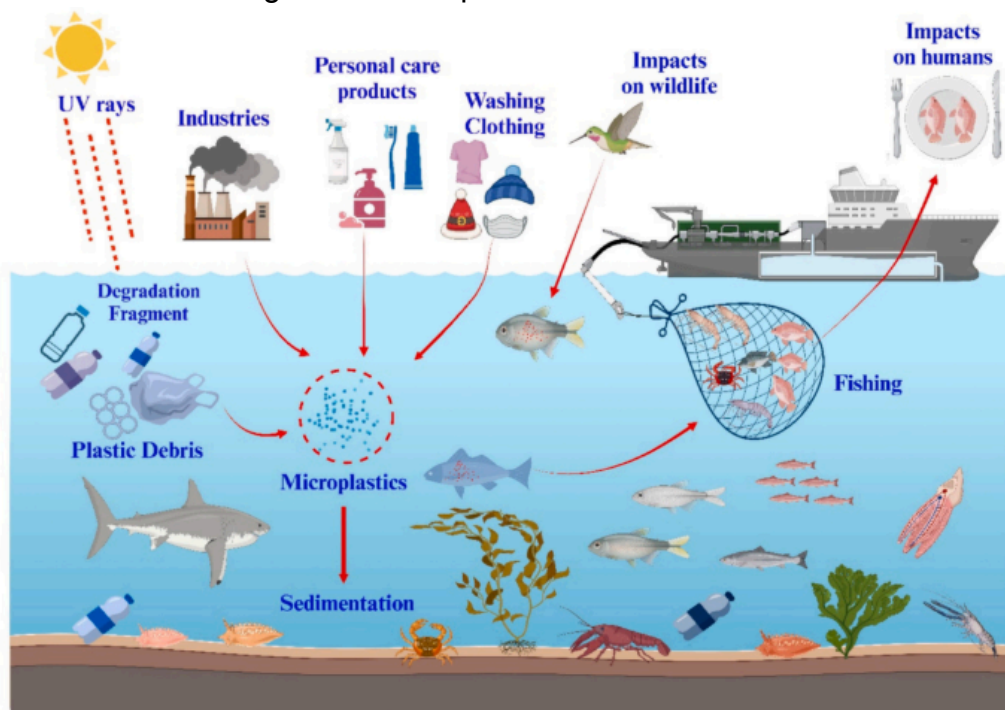
descartáveis e práticas sustentáveis na cadeia produtiva (LI et al., 2023; ZHANG et al., 2024).

Diante dessas evidências, torna-se urgente aprofundar pesquisas para compreender os mecanismos de toxicidade, estabelecer níveis seguros de exposição e desenvolver políticas eficazes para minimizar a contaminação por microplásticos em alimentos e no ambiente. Também refletem sobre compreender o ciclo completo dos microplásticos e a sua influência no meio ambiente e na saúde humana, reforçando a importância de pesquisas em diversas áreas.

2.6 IMPACTOS AMBIENTAIS

A produção massiva de plásticos e seu descarte inadequado têm resultado em uma ampla contaminação ambiental por microplásticos (Figura 6). Esses contaminantes estão presentes em diversos ambientes, incluindo oceanos, rios, sedimentos, solos, atmosfera e até mesmo em alimentos e água potável (ZHANG et al., 2024; KOSORE et al., 2024).

Figura 6 - Microplásticos no Ambiente Marinho



Fonte: PRASATH et al. (2025).

Nas últimas décadas, aumentaram significativamente os estudos sobre microplásticos, impulsionados pela crescente preocupação com seus impactos ambientais e à saúde humana. Microplásticos originados de embalagens alimentares têm sido amplamente detectados em ambientes aquáticos e terrestres, demonstrando seu potencial poluidor. Esses fragmentos são frequentemente ingeridos por animais, causando danos físicos, morte e permitindo a bioacumulação de substâncias tóxicas como metais pesados e poluentes orgânicos, o que agrava os efeitos ao longo da cadeia alimentar (KOSORE et al., 2024; ZHANG et al., 2024).

De acordo com estimativas da OECD (2022), cerca de 19 milhões de toneladas de plástico foram liberadas no ambiente terrestre e aquático apenas em 2019, sendo 6 milhões diretamente em ecossistemas aquáticos. Espera-se que entre 20 e 53 milhões de toneladas de plásticos ingressem nos oceanos anualmente até 2030, o que reforça a urgência de estratégias globais para conter essa crescente contaminação (LAHL et al., 2025).

A presença de microplásticos nos ambientes aquáticos representa uma ameaça séria à biodiversidade, afetando diretamente a vida marinha e o equilíbrio dos ecossistemas. A fauna marinha, como peixes, moluscos e aves, frequentemente confunde essas partículas com alimento, o que pode ocasionar lesões internas, obstruções no trato digestivo, redução da capacidade de alimentação e crescimento, além de aumentar a vulnerabilidade a predadores, levando muitas vezes à morte dos organismos afetados (LI et al., 2025).

Zhang et al. (2024) investigou a contaminação por microplásticos no trecho de Zhengzhou do Rio Amarelo, um dos principais rios da China, identificando dez tipos diferentes de polímeros diferentes nas amostras de água: PET, PA (poliamida), PP, PE, PS, PVC, PVA, PAN, PVS e EVA, com vários tamanhos e formas. O estudo demonstrou que, além do descarte doméstico e industrial, o escoamento urbano e o efluente de estações de tratamento de esgoto contribuem significativamente para a carga de MPs no ambiente fluvial. Essa poluição aquática representa um risco potencial para a segurança alimentar.

Além dos impactos diretos sobre os organismos aquáticos, os microplásticos atuam como vetores de contaminantes químicos. Os microplásticos têm a capacidade de absorver poluentes orgânicos persistentes (POPs), metais pesados e outras substâncias tóxicas presentes no ambiente. Isso facilita a sua entrada nos

organismos e contribui para a bioacumulação desses contaminantes ao longo das cadeias alimentares. Isso significa que espécies maiores e, conseqüentemente, os seres humanos, podem ser expostos a concentrações elevadas dessas substâncias nocivas (ZHANG et al., 2024; KOSORE et al., 2024). Além disso, a fragmentação contínua dos plásticos no ambiente, impulsionada por radiação UV, ação das ondas e degradação química, leva à formação de microplásticos irreversíveis, cujas emissões não podem mais ser recuperadas.

No estudo de Lahl et al. (2025) foi mostrado que essa fragmentação resulta na liberação de aditivos tóxicos como plastificantes, retardantes de chama e metais pesados, potencializando seus efeitos ecotoxicológicos. Dentre os plastificantes, destacam-se os ftalatos (como DEHP, DBP e BBP), frequentemente usados para conferir flexibilidade ao PVC. Substâncias antimicrobianas como o triclosan, presentes em algumas embalagens plásticas, também podem ser liberadas. Entre os retardantes de chama, os PBDEs (éteres difenílicos polibromados) e o TBBPA (tetrabromobisfenol A). Já os metais pesados, como chumbo (Pb), cádmio (Cd) e mercúrio (Hg), podem ser encontrados como pigmentos ou estabilizantes em embalagens.

No solo e na atmosfera, embora ainda menos estudados, os microplásticos também têm impactado negativamente, por exemplo o polipropileno (PP) no solo influencia as propriedades hidrológicas e a proliferação de certos microrganismos (YALAMEHA et al., 2025). A contaminação do ar também pode favorecer a dispersão dos microplásticos, permitindo que eles se espalhem por centenas de quilômetros alcançando regiões remotas do planeta. No estudo de Allen et al. (2019) foi detectado microplásticos trazidos por correntes atmosféricas a distâncias superiores a 95 km da fonte mais próxima conhecida.

Dessa forma, os microplásticos configuram um problema ambiental multifacetado, que exige esforços integrados para sua mitigação, envolvendo políticas públicas, inovação tecnológica e conscientização social. O entendimento dos impactos ambientais é fundamental para direcionar ações que minimizem a contaminação e protejam os ecossistemas e a saúde humana (ZHANG et al., 2024). A literatura reforça que a poluição marinha por microplásticos afeta não apenas a biodiversidade, mas também atividades econômicas como o turismo e a pesca, além de representar um risco emergente à saúde pública global (LAHL et al., 2025).

2.7 MEDIDAS DE MITIGAÇÃO

Diante dessa problemática, cresce a mobilização global por soluções eficazes. Entre essas soluções, as principais são: a redução no uso e na produção de plásticos; o aprimoramento da gestão de resíduos; o desenvolvimento de materiais biodegradáveis para a substituição de plásticos convencionais; e o desenvolvimento e aplicação de tecnologias voltadas à remoção dos microplásticos já presentes no ambiente.

No setor industrial, uma das principais estratégias é o desenvolvimento de embalagens mais seguras e sustentáveis, com menor tendência à liberação de microplásticos durante o uso. Quanto à substituição de materiais, Apicella et al. (2024) avaliaram filmes biodegradáveis à base de PLA, PBS e seus blends, observando menor liberação de microplásticos em comparação com plásticos convencionais. Batista et al. (2024) propuseram ainda o uso de filmes produzidos com nanofibrilas de celulose extraídas de *Hevea brasiliensis*, que apresentaram boas propriedades mecânicas e de barreira, além de alta biodegradabilidade. Além de serem renováveis e não tóxicos, esses materiais contribuem para a economia circular e reduzem o risco de migração de microplásticos para os alimentos.

Para os chamados "plásticos biodegradáveis de terceira geração" têm sido propostos como uma alternativa para reduzir o impacto ambiental e minimizar a geração desses microplásticos. Esses materiais são desenvolvidos segundo o conceito "Safe and Sustainable by Design", e visam garantir que todo o ciclo de vida do plástico, desde a sua produção até o descarte, seja seguro, rastreável e menos poluente. Contudo, os autores alertam que a biodegradação no ambiente marinho ainda é limitada e que os novos bioplásticos devem ser cuidadosamente avaliados quanto à sua real performance ambiental (LAHL et al. 2025).

Son et al. (2024) demonstraram que a liberação de nanoplasticos está diretamente relacionada à temperatura de uso dos materiais. A pesquisa revelou que polímeros como PS e PET, quando expostos a temperaturas acima de 60 °C, liberam significativamente mais partículas. Essa liberação foi associada à temperatura máxima de serviço (MST) dos plásticos, sugerindo que a seleção de materiais com maior resistência térmica pode ser uma via eficaz para aplacar essa migração de NPs em embalagens alimentares.

Do ponto de vista regulatório, é urgente a criação e implementação de normas técnicas específicas que incluem testes de migração de micro e nanoplásticos sob condições reais de uso. Atualmente, muitos testes padronizados avaliam apenas a migração de compostos químicos, mas não a presença de partículas plásticas, o que gera lacunas na avaliação de risco (LI et al., 2025). Políticas públicas voltadas à redução de plásticos de uso único e ao incentivo de sistemas de economia circular também são fundamentais. Estudos mostram que melhorias no ciclo de reciclagem, quando bem implementadas, podem reduzir significativamente a liberação de microplásticos no ambiente (KOSORE et al., 2024).

Nesse contexto, uma abordagem promissora é a inclusão dos impactos dos microplásticos nas metodologias de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). Nos estudos de Schwarz et al. (2024) propuseram a incorporação de fatores de caracterização ecotoxicológica (CFs) específicos para micro e macroplásticos, como por exemplo o LDPE, PP e PET, com foco nos impactos ecotoxicológicos em ambientes marinhos e de água doce. Essa inclusão permite que os efeitos ambientais da poluição plástica sejam quantificados ao longo de todo o ciclo de vida do produto, desde a produção até o descarte. Os autores aplicaram essa abordagem em um estudo de caso com embalagens multilayer de PET e PP, demonstrando que a escolha do material influencia diretamente no potencial de ecotoxicidade ao final do ciclo de vida. A integração desses dados à ACV fornece uma base científica para o desenvolvimento de embalagens mais seguras e sustentáveis, orientando decisões de design, regulamentações e políticas públicas com base em evidências ambientais consistentes.

Os consumidores, desempenham papel importante na redução da exposição, com práticas simples, como evitar o uso de embalagens plásticas em micro-ondas ou armazenar alimentos quentes em recipientes de vidro ou aço inox, ajudam a reduzir o risco de ingestão de partículas (ZHANG et al., 2024). Além disso, se optar por produtos com embalagens reutilizáveis ou compostáveis, pode gerar pressão sobre o mercado para a adoção de soluções mais sustentáveis.

Nesse contexto, estratégias de mudança de comportamento e políticas públicas de substituição, seja por conscientização ou por regulamentação, ganham destaque. Um estudo conduzido por Nagy et al. (2024), por meio de leilões experimentais com consumidores, demonstrou que o fornecimento de informações

claras sobre os riscos dos microplásticos pode aumentar a disposição em pagar mais por embalagens sustentáveis. Mensagens de apelo ambiental e informativo foram eficazes para promover escolhas mais conscientes, evidenciando que ações educativas e nudges ("nudging" ou estímulos sutis) comportamentais têm o potencial de impulsionar a transição para embalagens mais seguras e sustentáveis, especialmente quando aliadas à percepção de valor pelos consumidores.

Além disso, iniciativas internacionais como o Global Plastics Treaty, promovido pela ONU desde 2022, vêm buscando estabelecer um acordo legalmente vinculante para combater a poluição plástica, com foco na redução de plásticos de uso único, aumento da responsabilidade dos produtores e investimentos em sistemas eficazes de gestão de resíduos (LAHL et al., 2025). Esses acordos enfatizam a importância da economia circular, promovendo não apenas a reciclagem, mas também reavaliar os produtos plásticos dando maior durabilidade e reutilização. Estudos de Sezer et al. (2024) apontaram para a eficácia da eletrocoagulação (EC) como alternativa para o tratamento de efluentes industriais contendo microplásticos. A técnica, aplicada em uma indústria de filmes *stretch* de polietileno (PE), demonstrou alta eficiência na remoção de MPs a partir de parâmetros otimizados como pH, densidade de corrente e tempo de reação. Isso evidencia o potencial da EC para suavizar os impactos ambientais da indústria de embalagens alimentares desde a origem dos resíduos.

Além da eletrocoagulação, outra tecnologia promissora para o tratamento de efluentes industriais contendo microplásticos é a oxidação por ozônio. Em um estudo pioneiro, Topkaya et al. (2025) identificaram partículas de polietileno (PE) na água de resfriamento utilizada por uma indústria de filmes *stretch* para embalagens alimentares e avaliaram sua remoção por meio da ozonização. A aplicação de ozônio (O₃), um agente oxidante altamente reativo, promoveu modificações estruturais nos microplásticos, tornando-os mais suscetíveis à degradação. As análises por espectroscopia FTIR mostraram aumento nas bandas de grupos hidroxilas e carbonilas, evidenciando a oxidação dos polímeros. A remoção foi otimizada com dose de 7 mg/min de ozônio por 180 minutos, demonstrando alta eficiência sob determinadas condições de pH e tempo de exposição. Além de sua eficácia, o estudo avaliou a viabilidade econômica do processo, indicando que a ozonização pode ser incorporada como estratégia complementar de diminuição nas

indústrias de embalagens alimentares, especialmente no tratamento da água de resfriamento utilizada durante a produção, onde há elevado potencial de geração e acúmulo de microplásticos.

Este trabalho tem como objetivo analisar de forma organizada os estudos científicos que tratam da identificação e caracterização de microplásticos que têm origem em embalagens para alimentos. A proposta é entender quais tipos de plásticos estão mais presentes, quais métodos são usados para detectar essas partículas e quais são os possíveis riscos associados ao consumo desses alimentos, tanto para a saúde humana quanto para o meio ambiente.

Com o aumento do uso de plásticos em embalagens para alimentos, cresce também a preocupação com a migração de partículas plásticas para o alimento, especialmente na forma de microplásticos. A literatura científica oferece informações valiosas sobre esse tema, mas ainda carece de sistematização e análise crítica que permitam compreender os riscos e caminhos tecnológicos e regulatórios.

3 CONCLUSÃO

A presente pesquisa teve como objetivo revisar a literatura científica sobre a presença, identificação e caracterização de microplásticos oriundos de embalagens alimentares nos alimentos, bem como identificar os riscos comprovados à saúde humana e ao meio ambiente. Os resultados confirmaram que partículas plásticas migram para os alimentos. Essa migração ocorre com maior frequência em temperaturas acima de 40 °C. Também aumenta com o contato com substâncias gordurosas ou ácidas e durante períodos prolongados de armazenamento. As técnicas analíticas disponíveis são eficazes, porém ainda apresentam limitações. Por fim, os microplásticos representam um risco sério à saúde humana, embora ainda sejam necessárias mais pesquisas para entender completamente esses impactos. Os estudos analisados indicam que os microplásticos mais frequentemente associados às embalagens alimentares são o polipropileno (PP), o polietileno tereftalato (PET), o polietileno (PE) e o poliestireno (PS), materiais presentes em garrafas, potes, filmes e copos descartáveis. As técnicas mais empregadas para identificação e caracterização dessas partículas incluem espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR), espectroscopia Raman, pirólise acoplada à cromatografia gasosa (Py-GC/MS) e microscopia eletrônica, permitindo a determinação da composição química e estrutura morfológica das partículas. Quanto aos impactos na saúde humana, os estudos sugerem que a ingestão de micro e nanoplásticos pode causar inflamações, alterações na microbiota intestinal e acúmulo em tecidos. Diante disto, conclui-se que os microplásticos são uma preocupação crescente, tanto para a saúde pública quanto para o meio ambiente, e que medidas devem ser adotadas. Para isso, é recomendado o desenvolvimento de embalagens mais estáveis e seguras, o incentivo ao uso de biopolímeros de terceira geração e o fortalecimento das políticas públicas voltadas à economia circular. Para pesquisas futuras é o estudo dos efeitos crônicos da ingestão dessas partículas em diferentes faixas etárias. Por fim, esta pesquisa destaca o papel estratégico da Engenharia de Alimentos na inovação de materiais, na diminuição da migração de partículas e na formulação de soluções sustentáveis que atendam às exigências de saúde, qualidade e proteção ambiental.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, S. et al. Atmospheric transport and deposition of microplastics in a remote mountain catchment. *Nature Geoscience*, v. 12, p. 339–344, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41561-019-0335-5>
- APICELLA, A. et al. Generation of microplastics from biodegradable packaging films based on PLA, PBS and their blend in freshwater and seawater. *Polymers*, Basel, v. 16, p. 2268, ago. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/polym16162268>.
- ARIJENIWA, Victoria Foluke et al. Closing the loop: A framework for tackling single-use plastic waste in the food and beverage industry through circular economy – a review. *Journal of Environmental Management*, [S.l.], v. 359, p. 120816, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120816>.
- BATISTA, Felipe Gomes et al. The potential of nanofibrillated cellulose from *Hevea brasiliensis* to produce films for bio-based packaging. *International Journal of Biological Macromolecules*, [S.l.], v. 279, p. 135495, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.135495>.
- BHARATHI DILEEPAN, A. G. et al. Identification and occurrence of microplastics in drinking water bottles and milk packaging consumed by humans daily. *Environmental Monitoring and Assessment*, [S.l.], v. 197, n. 197-261, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10661-025-13721-3>.
- BJURSTRÖM, Anton et al. Single-cell protein bioplastic films from recovered nitrogen and carbon with high anaerobic biodegradability and biogas potential at end-of-life. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, [S.l.], v. 12, p. 15603–15612, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.4c05739>.
- CAPONIGRO, Vicky et al. Evaluating microplastic emission from takeaway containers: A Micro-Raman approach across diverse exposure scenarios. *Food Chemistry*, [S.l.], v. 464, p. 141716, out. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.141716>.
- DEUS, Beatriz Corrêa Thomé de et al. Coastal plastic pollution: A global perspective. *Marine Pollution Bulletin*, [S.l.], v. 203, p. 116478, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.116478>.
- DU, Shanshan; LIU, Ziyang; WU, Lei; TAO, Fangbiao. Identification and characterization of microplastics released during the actual use of disposable cups using laser direct infrared imaging. *Analyst*, [S.l.], v. 150, p. 989, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1039/d4an01375a>.
- ESPIRITU, Emilyn Q et al. Microplastics contamination in selected staple consumer food products. *Journal of Food Science and Technology*, [S.l.], v. 61, n. 11, p. 2082–2092, nov. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13197-024-05978-2>.

FADLELMOULA, A. et al. Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy to Analyse Human Blood over the Last 20 Years: A Review towards Lab-on-a-Chip Devices.

Micromachines, v. 2, n. 13, p. 187, jan. 2022. DOI:

<https://doi.org/10.3390/mi13020187>

FENG, Sansan et al. Driving factors and sources of microplastics in soils in the Yellow River source area. *Environmental Pollution*, [S.I.], v. 369, p. 125848, fev. 2025.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2025.125848>.

GIRI, S. et al. Microplastics contamination in food products: Occurrence, analytical techniques and potential impacts on human health. *Current Research in Biotechnology*, v. 7, p. 100190, 2024. Disponível em:

<https://doi.org/10.1016/j.crbiot.2024.100190>

HOSEINI, Maryam et al. Integrating behavioural, material and environmental science to inform the design and evaluation of a reuse system for takeaway food. *Resources, Conservation and Recycling*, [S.I.], v. 209, p. 107815, 2024. Disponível em:

<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2024.107815>.

HUANG, Zhongping et al. Quantification of microplastics released from plastic food containers during rinsing and migration by pyrolysis-gas chromatography/mass spectrometry. *Food Chemistry*, [S.I.], v. 472, p. 142934, 2025. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.142934>.

JIN, Tianyue et al. Plastic takeaway food containers may cause human intestinal damage in routine life usage: Microplastics formation and cytotoxic effect. *Journal of Hazardous Materials*, [S.I.], v. 475, p. 134866, 2024. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.134866>.

KASPER, Johann B. et al. Losses and emissions in polypropylene recycling from household packaging waste. *Waste Management*, [S.I.], v. 191, p. 230–241, 2025.

Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2024.11.029>.

KLAIBER, Miguel et al. Human intake assessment of triclosan associated with the daily use of polypropylene-made antimicrobial food packaging. *Food Chemistry*, [S.I.], v. 437, p. 139475, 2024. Disponível em:

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.139475>.

KOSORE, Charles; WAIYAKI, Edward; KIMANGA, Faith. Assessing the impact of banning the single-use plastic carrier bags: a case study for Kenyan marine environment looking at macro, meso, and microplastics. *Environmental Monitoring and Assessment*, Dordrecht, v. 196, n. 329, 2024. Disponível em:

<https://doi.org/10.1007/s10661-024-12473-w>.

LAHL, Rebecca et al. Third-generation biodegradable plastics – A complementary strategy to tackle the marine litter problem. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, [S.I.], v. 44, p. 101925, 2025. Disponível em:

<https://doi.org/10.1016/j.scp.2025.101925>.

LAM, Theresa Wing Ling; CHOW, Alice Sin Yin; FOK, Lincoln. Human exposure to microplastics via the consumption of nonalcoholic beverages in various packaging materials: The case of Hong Kong. *Journal of Hazardous Materials*, [S.l.], v. 472, p. 134575, maio 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.134575>.

LENZ, R. et al. A critical assessment of visual identification of marine microplastic using Raman spectroscopy for analysis improvement. *Marine Pollution Bulletin*, v. 1100 p. 82-92, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.09.026>

LI, Han et al. The released micro/nano-plastics from plastic containers amplified the toxic response of disinfection by-products in human cells. *Food Chemistry*, [S.l.], v. 470, p. 142636, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.142636>.

LIU, Weining et al. Characteristics, drivers and ecological risk assessment of microplastics in the surface water of urban rivers in Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area cities: a case study of Dongguan city. *Environmental Pollution*, [S.l.], v. 345, art. 125024, set. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.125024>.

LIU W, Liao H, Wei M, Junaid M, Chen G, Wang J. Biological uptake, distribution and toxicity of micro(nano)plastics in the aquatic biota: A special emphasis on size-dependent impacts. *TrAC Trends Anal Chem* 170, 117477. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trac.2023.117477>

MARHOON, Ahmed et al. Mapping plastic and plastic additive cycles in coastal countries: A Norwegian case study. *Environmental Science & Technology*, [S.l.], v. 58, p. 8336–8348, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.est.3c09176>.

NAGY, László Bendegúz; NAYGA JR., Rodolfo M.; TEMESI, Ágoston. Nudging consumers about the issue of microplastics: an experimental auction study on valuation for sustainable food packaging. *Scientific Reports*, [S.l.], v. 14, p. 18993, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-69962-8>.

PEMBERTON, Mark A. et al Risk Assessment of residual monomer migrating from acrylic polymers and causing Allergic Contact Dermatitis during normal handling and use. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, v. 69, p. 467-475, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2014.05.013>

PERERA, Kalpani Y. et al., Biopolymer-Based Sustainable Food Packaging Materials: Challenges, Solutions, and Applications. *Foods*, v. 12, p. 2422, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/foods12122422>

PERSIANI, Elisa et al. Virgin and photo-degraded microplastics induce the activation of human vascular smooth muscle cells. *Scientific Reports*, [S.l.], v. 15, n. 4263, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-025-89006-z>

PFOHL, Patrizia et al. Influence of plastic shape on interim fragmentation of compostable materials during composting. *Microplastics and Nanoplastics*, [S.I.], v. 4, n. 1, p. 1–14, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s43591-024-00084-8>.

PRASATH, Arunagiri Ragu; SUDHAKAR, Chinnappan; SELVAM, Kandasamy. Microplastics in the environment: Types, sources, and impact on human and aquatic systems. *Biotechnology Reports*, [S.I.], v. 29, p. 102055, 31 jan. 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2025.102055>.

PRATA, João C. Microplastics in wastewater: State of the knowledge on sources, fate and solutions. *Marine Pollution Bulletin*, v. 129, n. 1, p. 262–265, 2018. DOI: [10.1016/j.marpolbul.2018.02.046](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.02.046)

PUSHPARAJ, Swetha Muniswamy et al. Unveiling microplastic leaching from food packaging polyethylene covers: a preliminary study. *Asian Journal of Chemistry*, Índia, v. 36, n. 7, p. 1523–1527, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.14233/ajchem.2024.31525>

RAMAREMISA, Gibbon et al. Occurrence and characteristics of microplastics in South African beverages. *Environmental Pollution*, [S.I.], v. 365, p. 125388, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.125388>.

RIYA, Khadijatul Kubra et al. Characteristics, contamination levels, and ecosystem risk assessment of microplastics in surface water of a highly urbanized river from a developing country. *ACS Omega*, [S.I.], v. 9, p. 50922–50932, dez. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acsomega.4c01528>.

ROSTAMPOUR, Sara. et al. Changes in the Chemical Composition of Polyethylene Terephthalate Under UV Radiation in Various Environmental Conditions. *Polymers*, Basel, USA, v.16, art..2249, ago. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/polym16162249>.

SCHWARZ, A. E. et al. Microplastic aquatic impacts included in Life Cycle Assessment. *Resources, Conservation & Recycling*, [S.I.], v. 209, p. 107787, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2024.107787>.

SEZER, Mesut et al. Removal of microplastics in food packaging industry wastewaters with electrocoagulation process: Optimization by Box-Behnken design. *Chemosphere*, [S.I.], v. 352, p. 141314, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.141314>.

SHI, Tianzhu et al. Distribution, characteristics, and ecological risks of microplastics in the Hongyingzi sorghum production base in China. *Environmental Pollution*, [S.I.], v. 361, p. 124866, set. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.124866>.

SIDDIQUI, S. A. et al. Migration of microplastics from plastic packaging into foods and its potential threats on human health. In: WANI, A. A.; GOSWAMI, T. K. (ed.). *Advances in Food and Nutrition Research*. Academic Press. v. 100, cap. 8, p. 215–244. 2022. DOI: [10.1016/bs.afnr.2022.07.002](https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2022.07.002).

SINGH, Paratosh Kumar et al. Insights into the seasonal variation, distribution, composition and dynamics of microplastics in the Ganga River ecosystem of Varanasi City, Uttar Pradesh, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, Dordrecht, v. 196, n. 1134, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10661-024-13307-5>.

SON, Ji-Won et al.. Nanoplastic release from disposable plastics: Correlation with maximum service temperature. *Journal of Hazardous Materials*, [S.l.], v. 480, p. 136478, 10 nov. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.136478>.

SUN, Anqi et al. Human Exposure to Microplastics and Its Associated Health Risks. *Environment & Health*, v.1, p. 139-149, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1021/envhealth.3c00053>

SRIANI, Tutik et al. Impact of polyimide on the recycling of waste expanded polystyrene into flat-sheet filtration membrane. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, [S.l.], v. 26, p. 3745–3756, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10163-024-02073-8>.

TA, Anh Tuan; BABEL, Sandhya; WANG, Li Pang. Prevalence and characteristics of microplastic contamination in soft drinks and potential consumer exposure. *Journal of Environmental Management*, [S.l.], v. 373, p. 123810, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.123810>.

TOPKAYA, Eylem; ARSLAN, Ayla; ISGOREN, Melike. Microplastic removal by ozone oxidation in cooling wastewater of food packaging industry. *Chemical Engineering Science*, [S.l.], v. 306, p. 121287, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ces.2025.121287>.

ULHASANAH, Nova et al. Characterization of microplastics in Jakarta's urban downstream and estuary water bodies. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, [S.l.], v. 25, n. 11, p. 260–273, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.12912/27197050/192678>.

WANG, Liuwei et al. Rapid generation of microplastics and plastic-derived dissolved organic matter from food packaging films under simulated aging conditions. *Environmental Science & Technology*, [S.l.], v. 58, p. 20147–20159, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.est.4c05504>.

WISITTHAMMASRI, Wanlapa et al. Characterization of microplastics in soil, leachate and groundwater at a municipal landfill in Rayong Province, Thailand. *Journal of Contaminant Hydrology*, [S.l.], v. 264, p. 104455, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2024.104455>.

XIA, Yiteng; WANG, Wen-Xiong. Subcellular toxicity assessments of microplastics released from food containers. *Journal of Hazardous Materials*, [S.l.], v. 451, p. 137541, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2025.137541>.

XUAN, Yang et al. Releasing characteristics and risk of micro/nanoplastics from Chinese herbal decoction packages under daily usage scenarios. *Journal of Hazardous Materials*, [S.I.], v. 483, p. 136676, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.136676>.

YALEMAHA, Banafsheh et al. Plastic particle impacts on the cardiovascular system and angiogenesis potential. *Molecular and Cellular Biochemistry*, [S.I.], v. 480, p. 1327–1342, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11010-024-05081-2>.

YU, Ran; LI, Peng; SHEN, Rong. Collaborative removal of microplastics, bacteria, antibiotic resistance genes, and heavy metals in a full-scale wastewater treatment plant. *Water Science & Technology*, [S.I.], v. 91, n. 4, p. 438, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.2166/wst.2025.023>.

ZHANG, Fawen et al. Pollution characteristics and prospective risk of microplastics in the Zhengzhou section of Yellow River, China. *Science of the Total Environment*, [S.I.], v. 931, p. 172717, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.172717>.

ZHANG, Lan. et al. Biototoxicity of silver nanoparticles complicated by the co-existence of micro-/nano-plastics. *Food and Chemical Toxicology*, Qingdao, v. 193, p. 115020, nov. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2024.115020>

ZHOU, Yang et al. Considering microplastic characteristics in ecological risk assessment: A case study for China. *Journal of Hazardous Materials*, [S.I.], v. 470, p. 134111, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.134111>.

ZHU, Zuhao et al. Fate, source, and ecological risk of microplastic in the surface sediment of the Beibu Gulf, the Northern South China Sea. *Marine Environmental Research*, [S.I.], v. 205, p. 106931, dez. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2024.106931>.